

---

# UAV LiDAR: Monitoring Strandbebouwing en duinontwikkeling september 2017

---



## VELDRAPPORTAGE

18 oktober 2017

Shore Monitoring & Research B.V.

**Project** UAV LiDAR: Monitoring Strandbebouwing en duinontwikkeling september 2017

**Opdrachtgever** Stichting Deltares

**Onderdeel** Veldrapportage

**Surveydatum** 20 september 2017

**Auteur** ir. R.C. de Zeeuw

**Interne reviewers** dr. ir. M.A. de Schipper

**Opgeleverd aan** Bas Hoonhout

**Versie** 18 oktober 2017

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond . . . . .	1
1.2	Meetgebied . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Doel en omvang</b>	<b>2</b>
2.1	Doel . . . . .	2
2.2	Omvang . . . . .	2
2.3	Opgeleverde producten . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>3</b>
3.1	UAV LiDAR Puntenwolk . . . . .	3
3.2	UAV LiDAR Hoogtemodel . . . . .	3
3.3	UAV LiDAR Orthophoto . . . . .	6
3.4	UAV LiDAR Validatie . . . . .	9
3.4.1	Planimetrische nauwkeurigheid . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Methodologie</b>	<b>14</b>
4.1	Coördinaat systeem . . . . .	14
4.2	UAV LiDAR meting . . . . .	14
4.2.1	Calibratie . . . . .	16
4.2.2	Real time data link . . . . .	16
4.3	Validatie metingen . . . . .	16
4.3.1	GNSS-carrier . . . . .	16
4.3.2	Peilstok . . . . .	17
4.4	Processing . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Opmerkingen, bijzonderheden en waarnemingen tijdens de meting</b>	<b>19</b>

# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

In het kader van onderzoek naar de mogelijke invloed van strandbebouwing op duinontwikkeling is Shore Monitoring & Research gevraagd om de morfologie in twee onderzoeksgebieden in kaart te brengen met een RPAS uitgerust met een LiDAR systeem. Door de inzet van deze techniek wordt het zeer sterk 3 dimensionale karakter van de morfologie rond strandbebouwing vastgelegd -hetgeen met conventionele GPS profiel metingen niet haalbaar is- en bovendien het grondoppervlak tussen de vegetatie beter bemeten dan met fotogrammetrie.

De data die gegenereerd is met deze meting zal in een later stadium geanalyseerd t.b.v. het onderzoek naar de invloed van strandbebouwing op duinontwikkeling op langere termijn.

Dit rapport beschrijft de metingen die zijn verricht met behulp van een Unmanned Aerial Vehicle uitgerust met een LiDAR systeem en fotocamera, beschrijft de instrumenten die gebruikt zijn voor de meting en geeft een overzicht van de resultaten.

## 1.2 Meetgebied

Het meetgebied is identiek aan de meetgebieden van voorgaande monitoring op deze locaties, m.b.v. UAV en fotogrammetrie. Het oppervlak van het meetgebied bij Sint Maartenszee is ca. 45 ha, bij Julianadorp ca. 51 ha. (rode omlijning Fig. 1.1).



Figuur 1.1: Overzicht meetgebied (Achtergrond beeld: Google Earth).

## 2 Doel en omvang

### 2.1 Doel

Het doel van de metingen is het meten van de hoogteligging in het meetgebied en het genereren van een orthophoto op basis van de luchtfoto's die zijn genomen vanaf de UAV, simultaan met de UAV LiDAR vluchten.

### 2.2 Omvang

Om bovenstaande doelen te kunnen behalen zijn verschillende metingen uitgevoerd op 20 september 2017:

- UAV LiDAR metingen, uitgebreid met luchtfoto's
- RTK-GNSS validatie metingen verspreid door het gebied
- Plaatsing en inmeting van grond controle punten met RTK-GNSS

### 2.3 Opgeleverde producten

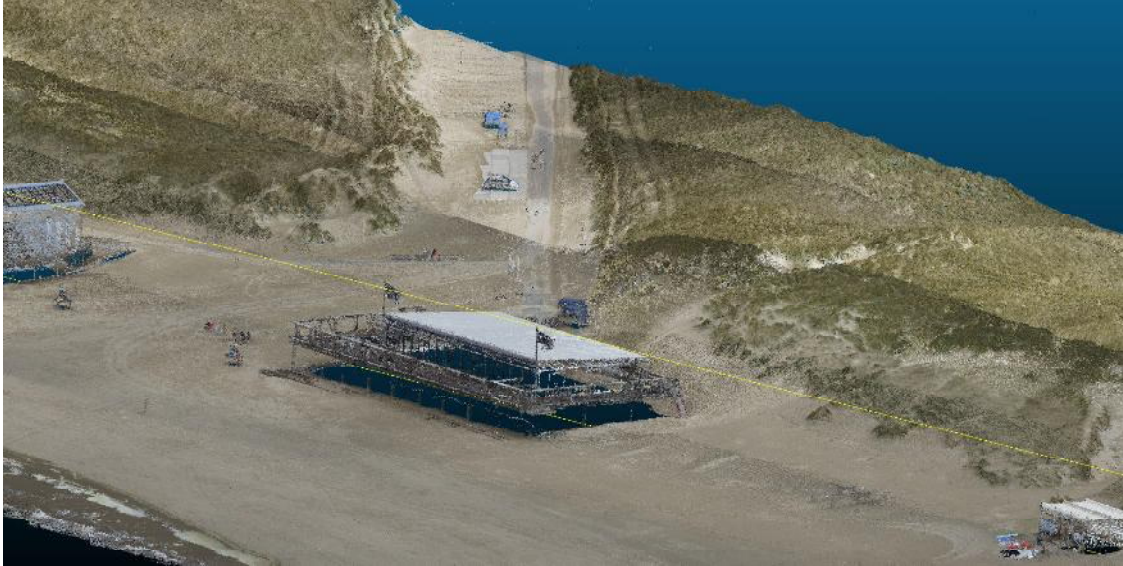
Als resultaat van de metingen zijn de volgende producten opgeleverd:

- De voorliggende veldrapportage *UAV LiDAR: Monitoring Strandbebouwing en duinontwikkeling september 2017.txt*
- Hoogtemodellen van het grondoppervlak van beide gebieden met een resolutie van 0.10 x 0.10 m en 0.5 x 0.5 m
- Orthophotos van beide gebieden met een resolutie van 0.03 x 0.03 m en 0.10 x 0.10 m resolutie
- de geclassificeerde en gekleurde puntenwolken van beide gebieden
- GPS validatie metingen

## 3 Resultaten

### 3.1 UAV LiDAR Puntenwolk

Een meting met de UAV LiDAR resulteert in een puntenwolk van alle gescande oppervlakten en objecten in het meetgebied. De puntenwolk bestaat uit honderden miljoenen punten en toont daarmee veel detail van het oppervlak, vegetatie en de constructies binnen het scangebied van de laser. Een voorbeeld van een deel van de puntenwolk van de uitgevoerde meting is getoond in Fig. 3.1. Hierin zijn duidelijk het strand, strandbebouwing en de duinen zichtbaar.

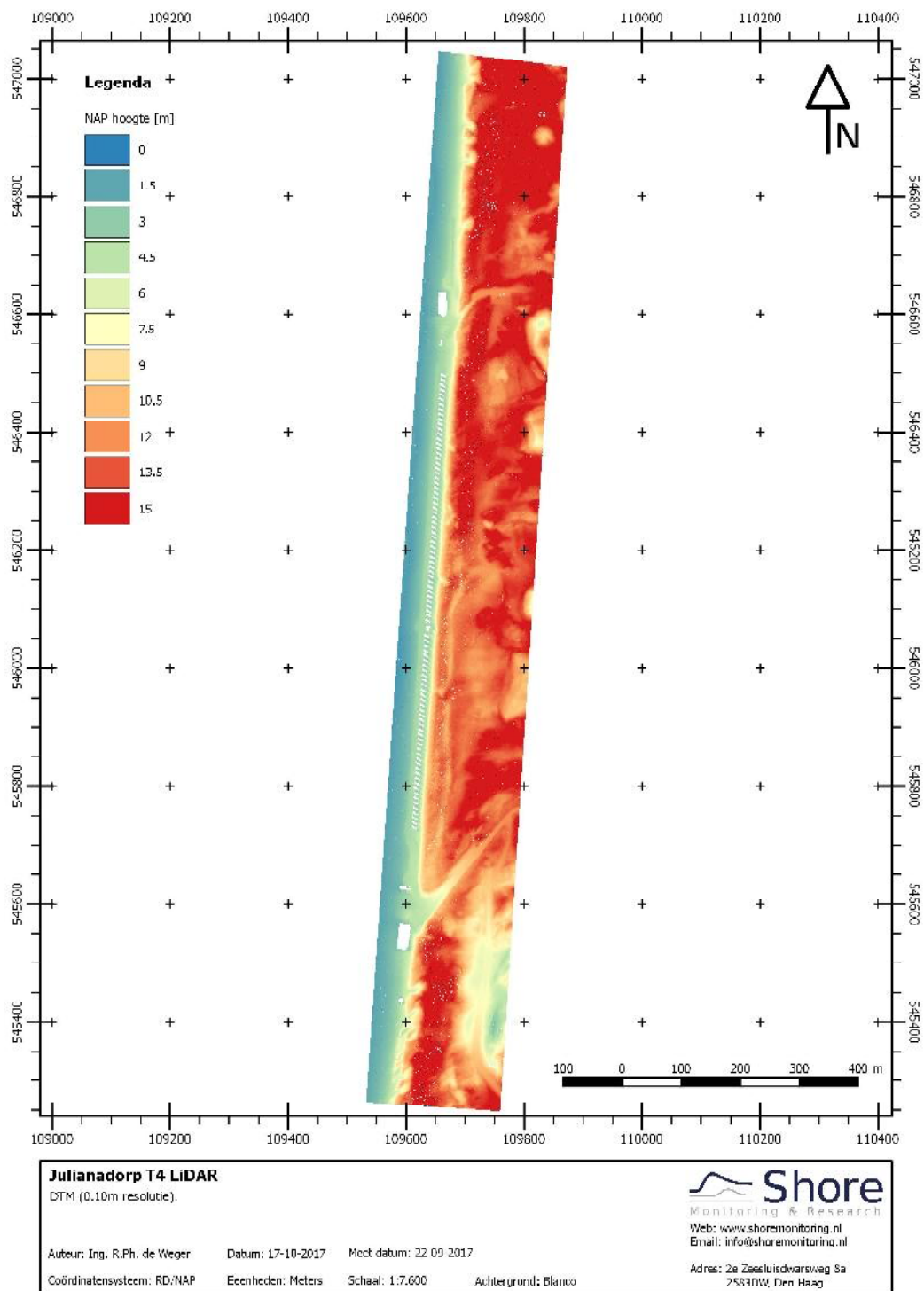


Figuur 3.1: Printscreen van een deel van de puntenwolk van de meting.

### 3.2 UAV LiDAR Hoogtemodel

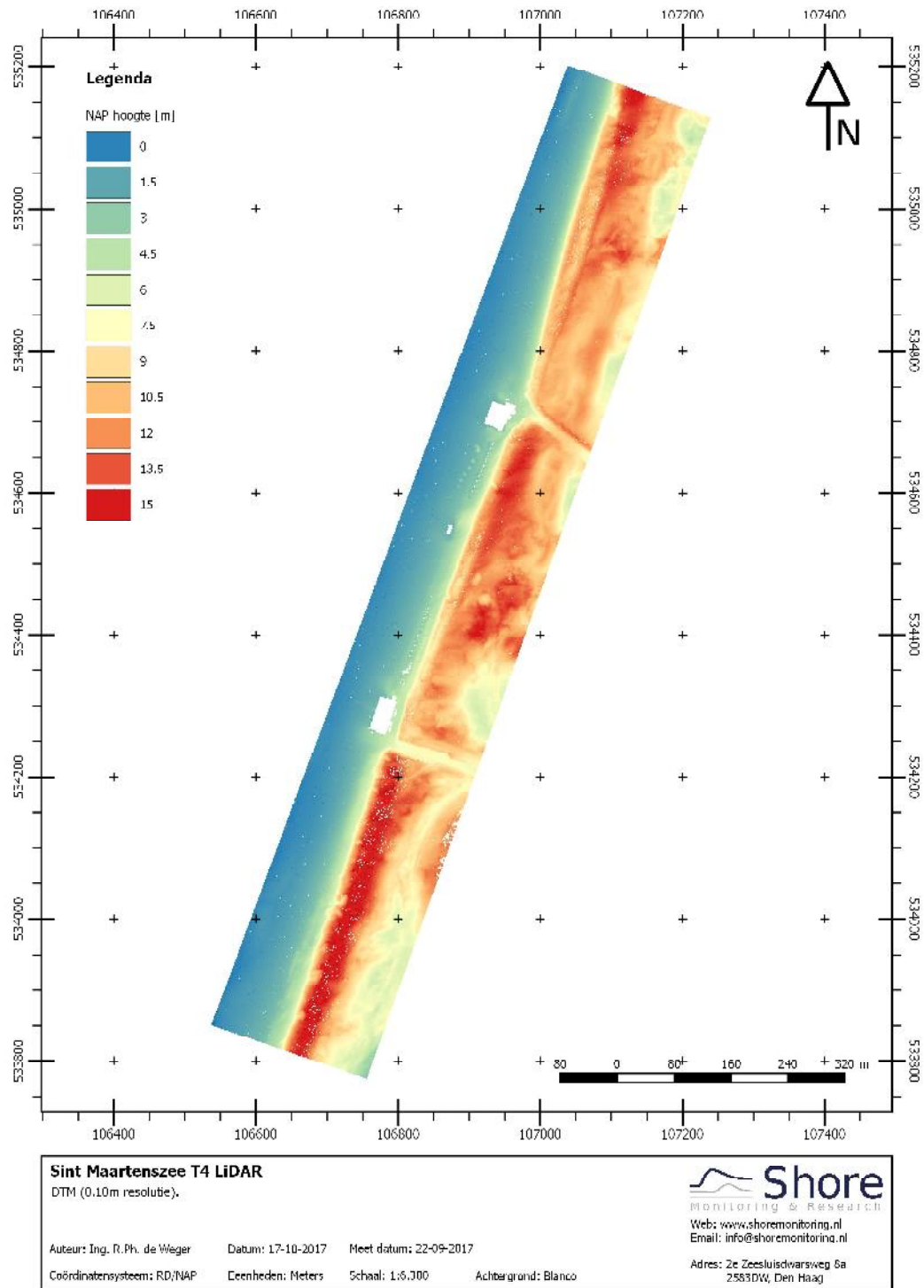
Naast de puntenwolk is een digitaal hoogtemodel een gewenst product. Hiertoe is de puntenwolk geclassificeerd, zodat alleen de grondpunten (klasse 2) meegenomen kunnen worden naar het uiteindelijke hoogtemodel. De grondpunten zijn vergrid naar een regelmatig raster met een resolutie van  $0.10 \times 0.10$  en  $0.5 \times 0.5$  m. Deze resulterende rasterbestanden kunnen in gangbare GIS-pakketten gevisualiseerd, geanalyseerd en bewerkt worden. Het hoogtemodel wordt hieronder gepresenteerd in een kaartblad.

Fig. 3.2 toont het Julianadorp (grond)hoogtemodel op basis van de meting van 20 september 2017.



Figuur 3.2: Hoogtemodel Julianadorp

Fig. 3.3 toont het Sint Maartenszee (grond)hoogtemodel op basis van de meting van 20 september 2017.

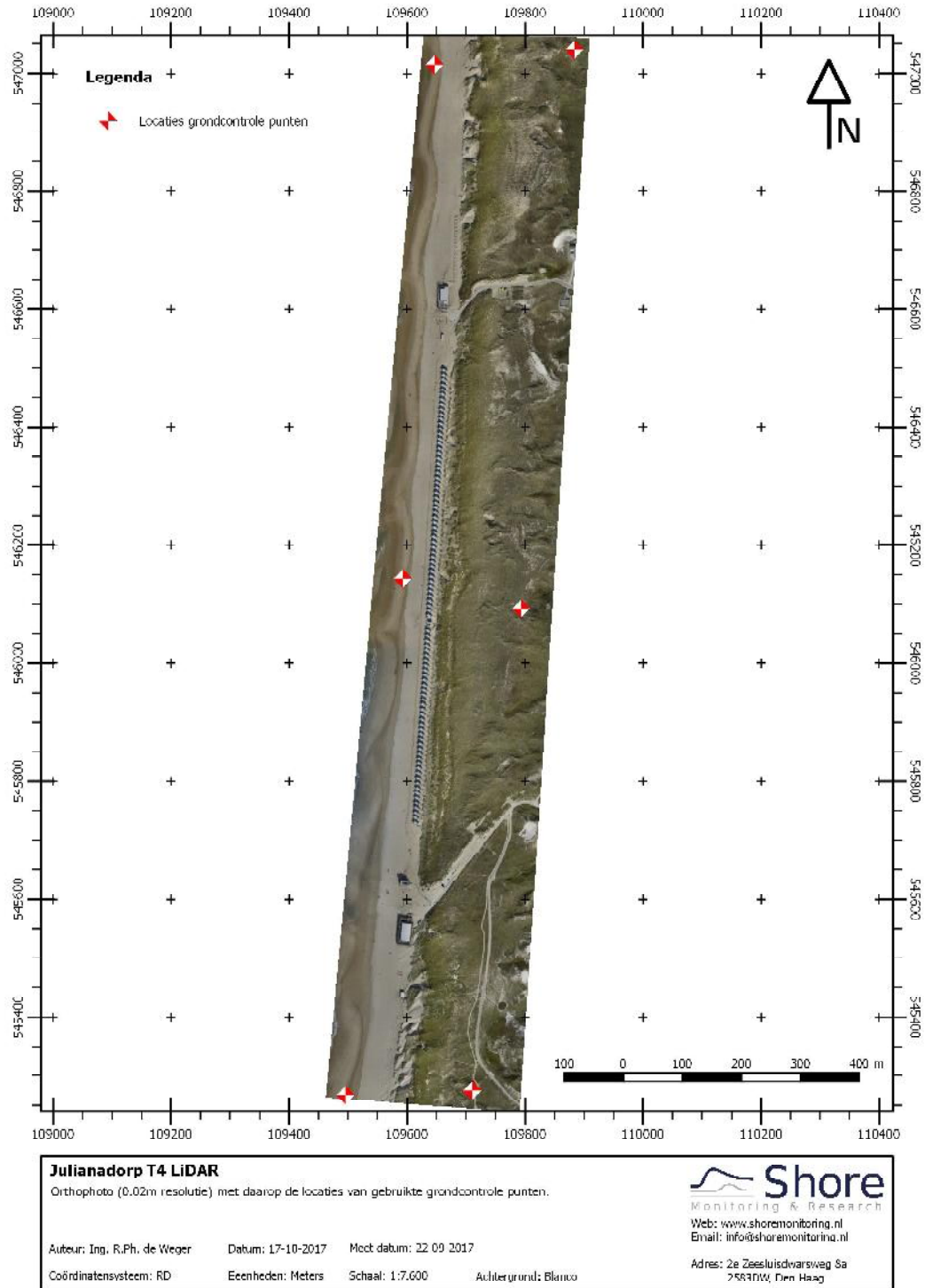


Figuur 3.3: Hoogtemodel Sint Maartenszee



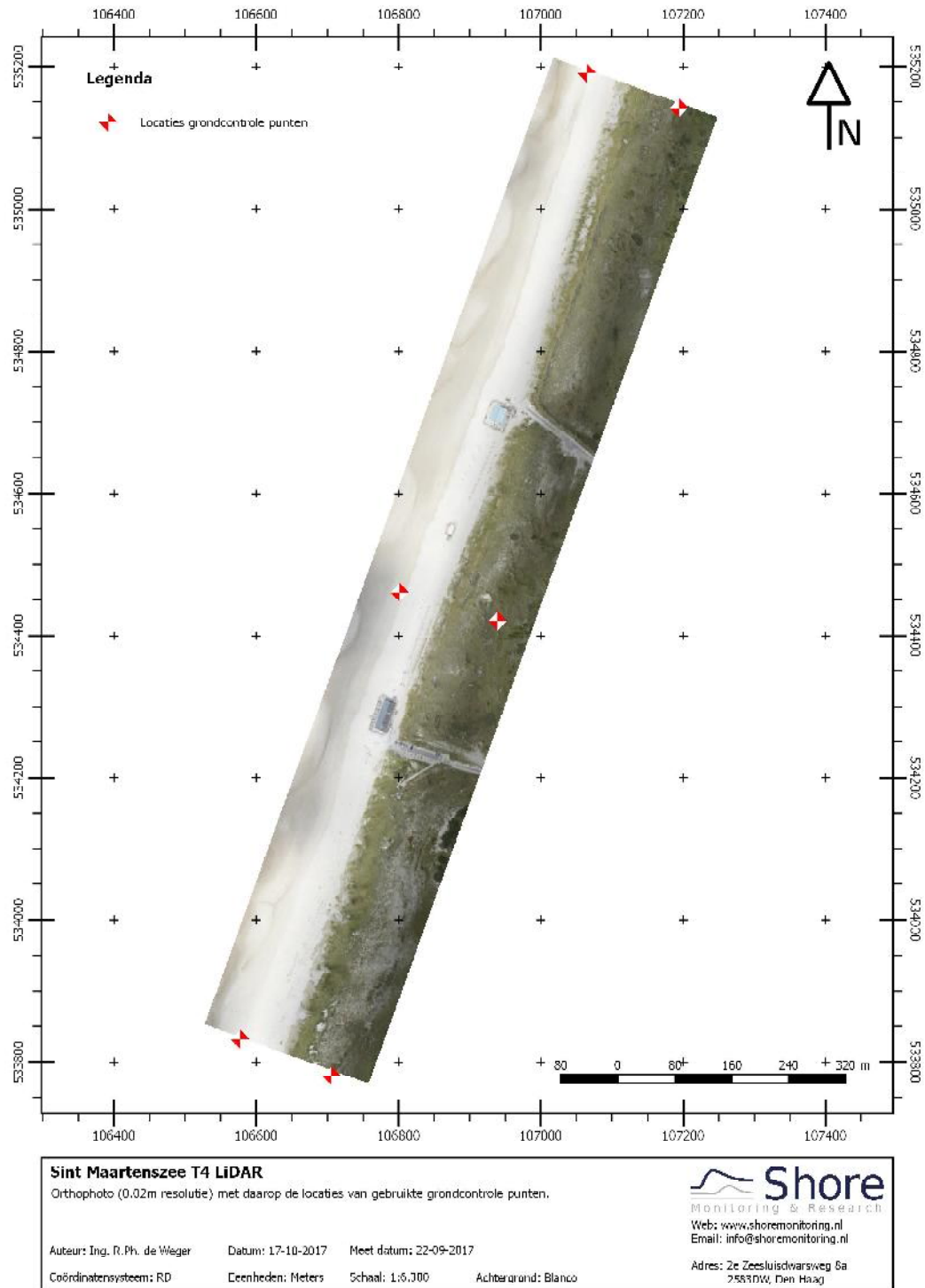
### 3.3 UAV LiDAR Orthophoto

Tijdens de vluchten zijn ca. 2000 en 1700 luchtfoto's gemaakt voor de gebieden Julianadorp en Sint Maartenszee respectievelijk. Met behulp van fotogrammetrie software zijn deze tot één aaneengesloten luchtfoto verwerkt in RD coördinaten. Doordat op de UAV met LiDAR ook een RTK-GNSS en fiber optic gyro gemonteerd zitten, zijn de camera positie en orientatie van alle foto's tot op de cm nauwkeurig bekend, hetgeen het benodigde aantal grond controle punten aanzienlijk verkleind. Fig. 3.4 toont de orthophoto voor Julianadorp op basis van de meting van 20 september 2017.



Figuur 3.4: Orthophoto Julianadorp. Inclusief locaties van grond controle punten.

Fig. 3.5 toont de orthophoto voor Sint Maartenszee op basis van de meting van 20 september 2017.



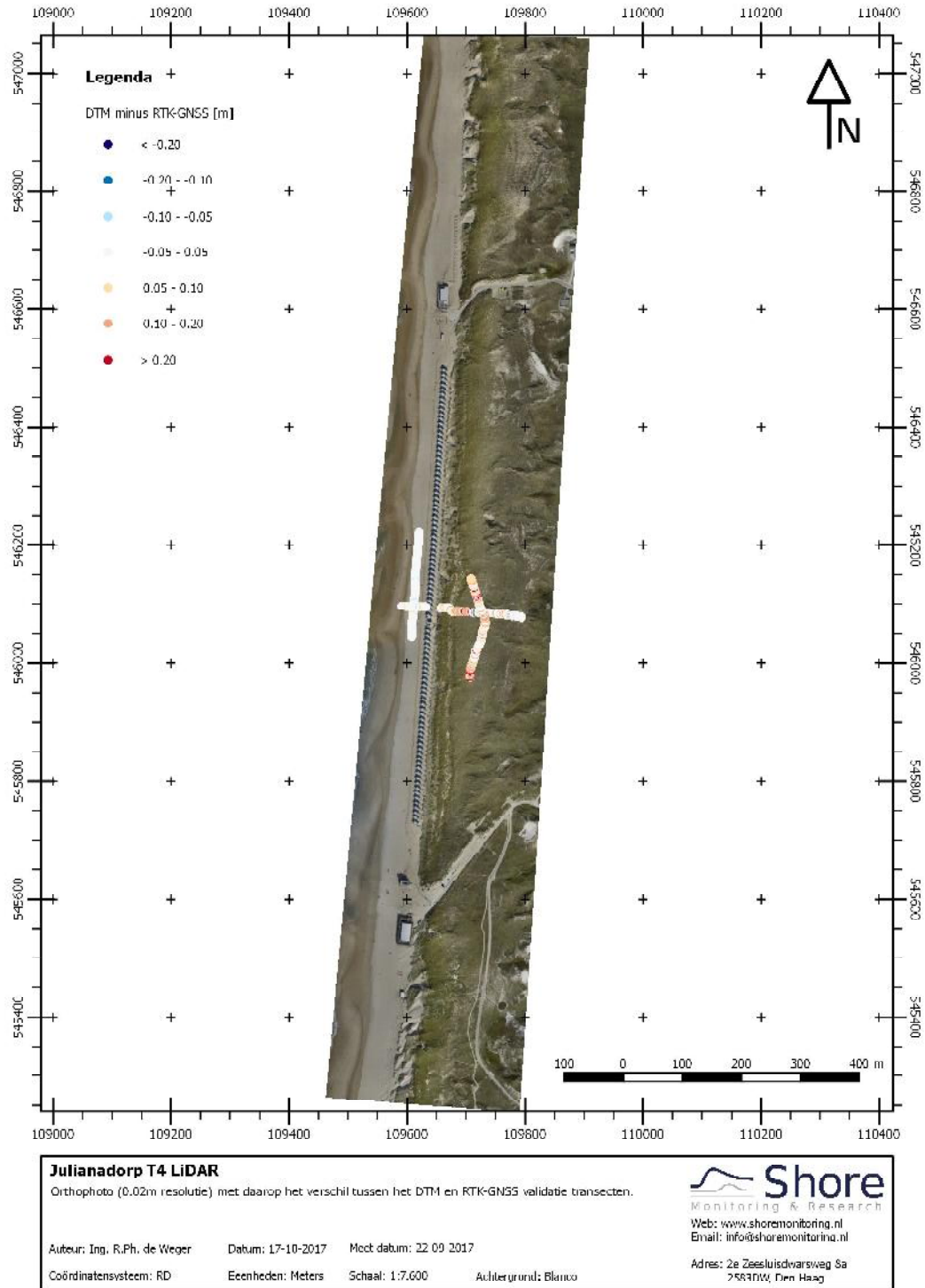
Figuur 3.5: Orthophoto Sint Maartenszee. Inclusief locaties van grond controle punten.

### 3.4 UAV LiDAR Validatie

Op locaties van de RTK-GNSS metingen zijn de hoogteligging van het terrein op basis van de UAV LiDAR metingen vergeleken met de RTK-GNSS veldmetingen. De hoogteverschillen zijn in Fig. 3.6 en Fig. 3.7 voor respectievelijk Julianadorp en Sint Maartenszee op de orthophotos weergegeven. De kleuren corresponderen met het verschil in hoogteligging tussen de RTK-GNSS hoogtemetingen en het UAV-LiDAR hoogtemodel (0.10 x 0.10 m resolutie).

Voor Julianadorp geldt: gemiddelde *absolute* afwijking op het strand bedraagt 0.0148 m met een standaardafwijking van 0.0149 m. In de duinen is de gemiddelde afwijking 0.065 m met een standaardafwijking van 0.062 m.

Voor Sint Maartenszee geldt: gemiddelde *absolute* afwijking op het strand bedraagt 0.051 m met een standaardafwijking van 0.010 m. In de duinen is de gemiddelde afwijking 0.121 m met een standaardafwijking van 0.100 m.



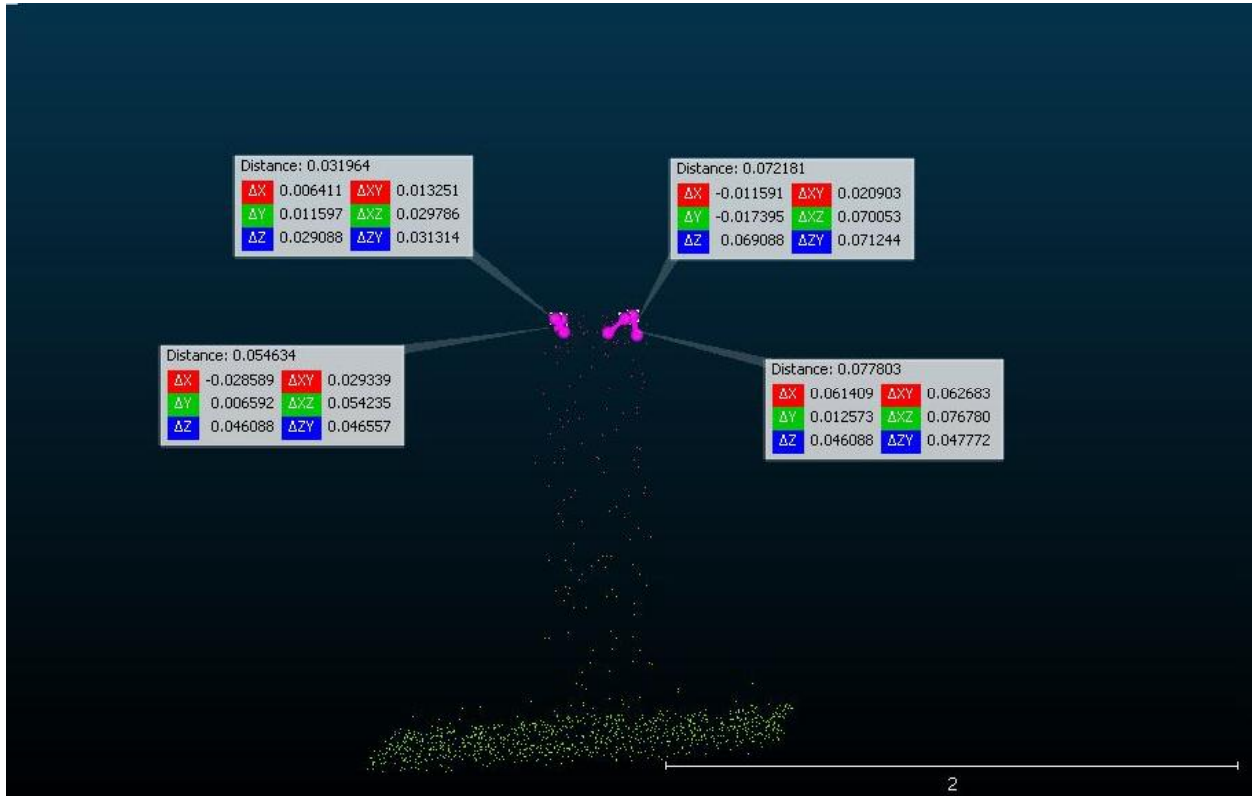
Figuur 3.6: Orthophoto Julianadorp o.b.v. UAV LiDAR luchtfoto's. Hoogteverschil met validatiemetingen in kleur aangegeven.



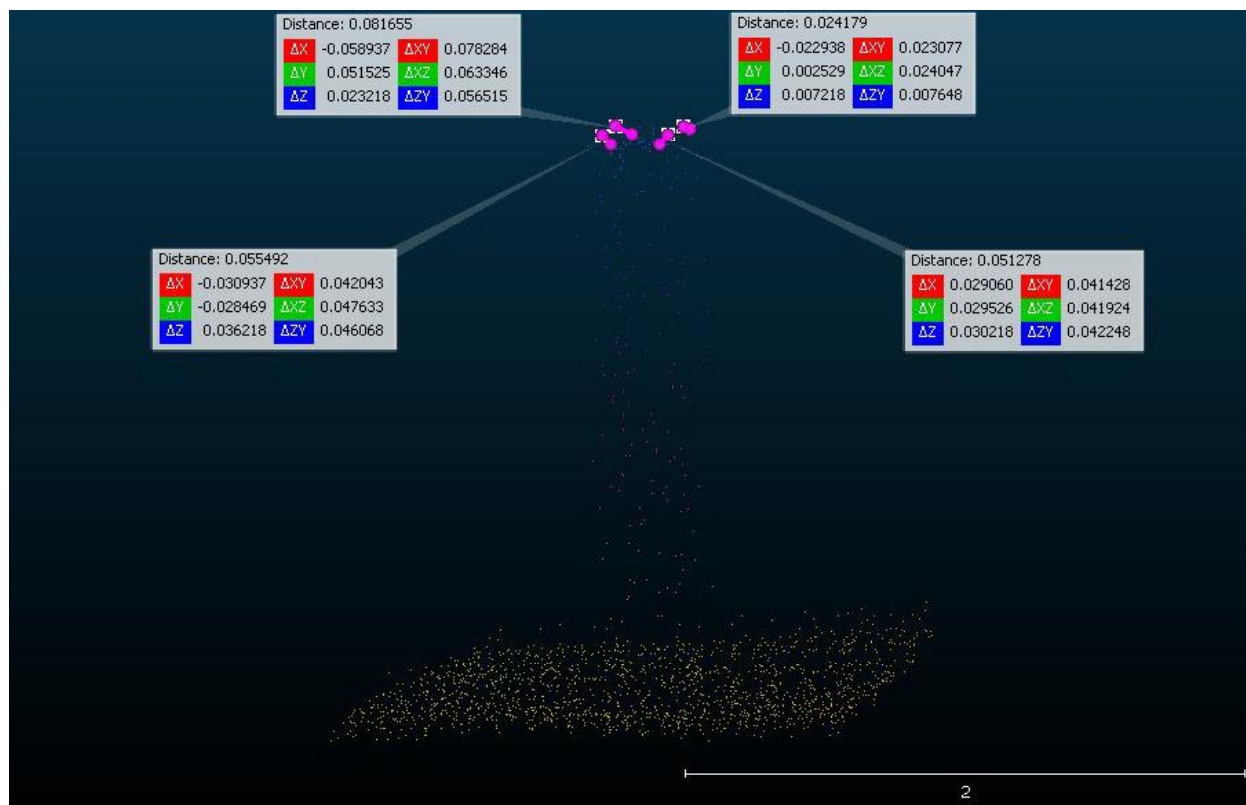
Figuur 3.7: Orthophoto Sint Maartenszee o.b.v. UAV LiDAR luchtfoto's. Hoogteverschil met validatiemetingen in kleur aangegeven.

### 3.4.1 Planimetrische nauwkeurigheid

De planimetrische nauwkeurigheid is tevens bepaald aan de hand van GPS metingen van 3D objecten in het veld: enkele strandpalen zijn ingemeten. Fig. 3.8 en 3.9 tonen de planimetrische nauwkeurigheid in respectievelijk St Maartenszee en Julianadorp ). De verschillen tussen de GPS meting en de LiDAR metingen staan in Tabel 3.1.



Figuur 3.8: Puntenwolk met daarin de GNSS puntmetingen (paars) in Sint Maartenszee



Figuur 3.9: Puntenwolk met daarin de GNSS puntmetingen (paars) in Julianadorp

Tabel 3.1: Afstand GNSS puntmetingen en puntenwolk op de hoekpunten een Rijks strandpaal (zie Fig. 3.8 en 3.9 voor punten)

punt	afstand	dX (m)	dY (m)	dZ (m)
StMzee 1	0.082	-0.059	0.052	0.023
StMzee 2	0.024	-0.023	0.003	0.007
StMzee 3	0.055	-0.031	-0.028	0.036
StMzee 4	0.051	0.029	0.029	0.030
JulDorp 1	0.032	0.006	0.011	0.029
JulDorp 2	0.072	-0.012	-0.017	0.069
JulDorp 3	0.054	-0.029	-0.006	0.046
JulDorp 4	0.077	0.061	0.013	0.046



## 4 Methodologie

De metingen die we hebben uitgevoerd voor dit project zijn:

- UAV LiDAR
- UAV Fotogrammetrie
- RTK-GNSS validatie metingen

De RTK-GNSS validatie metingen gebruiken we ter controle van de UAV LiDAR en/of fotogrammetrie metingen. Een vergelijk tussen de RTK-GNSS metingen en LiDAR meetproducten wordt altijd gerapporteerd. De methodologie van de geoffreerde metingen wordt hieronder toegelicht.

### 4.1 Coördinaat systeem

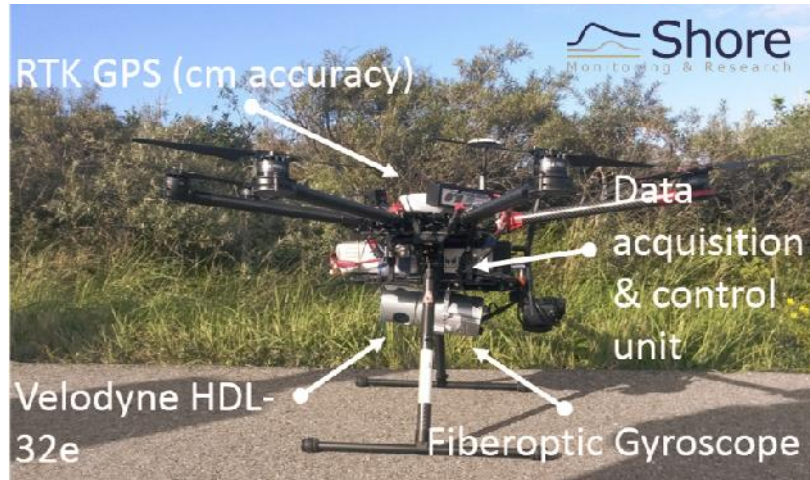
Alle metingen in deze rapportage en de bijgeleverde files zijn in het Rijksdriehoeken stelsel met hoogtes ten opzichte van NAP. Details van het coördinatensysteem zijn gegeven in onderstaande tabel.

Parameter	Value
Horizontal Datum	RD2008
EPSG code	28992
SPHEROID	Bessel 1841
PROJECTION	Oblique Stereographic
latitude of origin	52.15616055555555 degree
central meridian	5.38763888888889 degree
scale factor	0.9999079
false easting	155000
false northing	463000
Unit	metre
Vertical Datum	NAP

### 4.2 UAV LiDAR meting


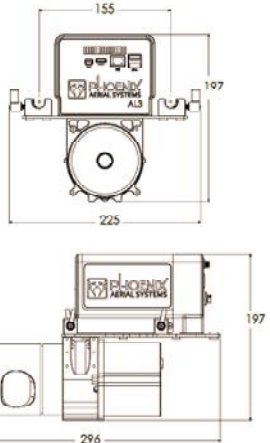
Het gebruikte LiDAR systeem is de AL3-32 van Phoenix Aerial Systems. Dit systeem bevestigen wij aan de UAV van onze partner drone operator Skyvision, die volledig gecertificeerd is conform de meest recente regelgeving m.b.t. professioneel gebruik van drones.

De besturing van het LiDARsysteem staat los van de besturing van het meetplatform waaraan het is bevestigd. Bij inzet van het systeem onder een UAV wordt vooraf een vluchtplan gemaakt. Dit vluchtplan wordt in de UAV geprogrammeerd, waarna de vluchtpaden autonoom afgevlogen worden. De UAV-piloot kan altijd handmatig de controle over het systeem overnemen. Dit gebeurt bijvoorbeeld altijd bij de start en landing. Fig. 4.1 toont het systeem onder een DJI S1000, vergelijkbaar met de huidige UAV waarmee we vliegen: DJI M600pro van Skyvision. Daarin is tevens de RTK-GNSS antenne te zien die bovenop de UAV is gemonteerd.



Figuur 4.1: Het LiDAR systeem onder een DJI M600pro.

Het LiDAR systeem bestaat uit een KVH1725 Fiber Optic Gyro IMU (Fig. 4.2 annotatie 1), Velodyne HDL32e laserscanner (Fig. 4.2 annotatie 2), Sony A6000 camera (Fig. 4.2 annotatie 3) en een mini Linux computer waarin alle data wordt verzameld. De IMU vormt het hart van het meetsysteem. Alle offsets en hoekverdraaiing van de GNSS-antenne, camera en laserscanner liggen in x, y en z-richting nauwkeurig vast t.o.v. het hart van de IMU.

PLATFORM	
OVERALL DIMENSIONS	296 x 225 x 197 mm
OPERATING VOLTAGE	12-28 V
POWER CONSUMPTION	~40 W
WEIGHT	3.2 kg
1. NAVIGATION SYSTEM	
DUAL-ANTENNA / HEADING	Optional
CONSTELLATION SUPPORT	GPS <sup>1</sup> , GLONASS <sup>2</sup> , Galileo <sup>3</sup> , BeiDou <sup>4</sup> <sup>1</sup> Single frequency, dual-frequency optional <sup>2</sup> Dual-frequency
SUPPORT ALIGNMENT	Kinematic, Dual-Antenna
OPERATION MODES	Real-time, Postprocessing optional
ACCURACY POSITION	1cm : 1ppm RMS horizontal
ACCURACY PITCH/ROLL	0.015 deg RMS
ACCURACY HEADING	0.08 deg RMS
2. LiDAR SENSOR (HDL-32e)	
LASER POWER	Class 1 (safe eye)
LASER WAVELENGTH	905 nm
MIN RANGE	1.0 m
MAX RANGE	120 m
MAX RANGING ERROR	20 mm
RANGE RESOLUTION	2 mm
SCAN RATE	700k shots/s, up to 1.4 million points/s
FIELD OF RANGE	+10°, -30° Vertical FOV / 360° Horizontal FOV
MULTIPLE ECHOES	2
POWER CONSUMPTION	12 W
DIAMETER/HEIGHT	85.34 * 144.24 Mm
WEIGHT	1,050 g
OPERATING TEMPERATURE	-10° / 60° C
INGRESS PROTECTION	IP 67
NUMBER OF LASERS/ PLANES	32
RECOMMENDED SCANNING HEIGHT AGL (m)	20 - 60 m

Figuur 4.2: Factsheet van het AL3-32 Mobile LiDAR systeem.

#### 4.2.1 Calibratie

Het systeem is gecalibreerd in een testomgeving van Phoenix LiDAR Systems. Met name de offsets en rotaties van de laserscanner t.o.v. de IMU zijn cruciaal voor een nauwkeurige meting. Deze twee componenten worden na calibratie niet meer van elkaar gescheiden. De offsets en rotaties van de camera en GNSS tot de IMU kunnen verschillen per meetplatform en zijn met de grootst mogelijk zorg gemeten.

#### 4.2.2 Real time data link

Via WiFi of 3G staat het systeem in verbinding met een grondstation (laptop) met daarop de besturingssoftware voor het meetsysteem. RTK-GNSS correctiewaardes worden tevens via 3G naar het systeem verzonden (evt. zijn UHF en WiFi mogelijk). Op het grondstation zijn alle meetwaarden van de verschillende sensoren realtime zichtbaar. Ook de puntenwolk wordt tijdens het scannen realtime opgebouwd op het scherm van de surveyor. De surveyor houdt realtime alle sensorwaarden in de gaten en begeleidt de UAV-piloot bij het uitvoeren van de vluchten opdat een kwalitatief hoogwaardige meting wordt verricht.

#### 4.3 Validatie metingen

De validatie metingen worden uitgevoerd met professionele GNSS apparatuur van Leica. Enerzijds worden transecten ingemeten met de GNSS-carrier, anderszijds worden specifieke puntmetingen op 3D objecten uitgevoerd.

##### 4.3.1 GNSS-carrier

Met de GNSS-carrier (Fig. 4.3) wordt een aantal transecten in het meetgebied ingemeten. Deze data wordt gebruikt ter validatie van de UAV LiDAR of UAV fotogrammetrie meetproducten.

Positionering (in alle richtingen) gebeurt door middel van de Leica Viva GS14/GS10/GX1230 GNSS ontvanger. Deze is gemonteerd op een loodstaaf die geïntegreerd is met een loopwiel en draagframe. Al lopend kan continu gemeten worden. Door de vaste afstand tussen de GNSS antenne en het rolvlak van het wiel kan de bodemligging continu bemeten worden. De surveyor houdt de GNSS-carrier zo verticaal mogelijk (met behulp van een waterpas die gemonteerd zit op de loodstaaf) en anticiperend op het terrein waardoor hij zich begeeft. Op het veldboek van de GNSS zijn real-time informatie, zoals positie, status van het instrument en de te lopen en voltooide surveylijnen af te lezen en in te stellen.



Figuur 4.3: De GNSS-carrier waarmee lopend de hoogte van het grondoppervlak gemeten kan worden.

### 4.3.2 Peilstok

Met de peilstok (ook wel loodstaaf genoemd) worden puntmetingen uitgevoerd van specifieke objecten of locaties in het gebied. Dit kunnen enerzijds inmeting van grond controle punten zijn t.b.v. UAV fotogrammetrie projecten (Fig. 4.4). Of anderzijds metingen van hoekpunten van specifieke 3D objecten ter validatie van UAV LiDAR meetproducten. Maar ook maatvoering projecten in de infra en (water)bouw.

Positionering (in alle richtingen) gebeurt door middel van de Leica Viva GS14/GS10/GX1230 GNSS ontvanger. De surveyor houdt de loodstaaf verticaal met behulp van een waterpas die gemonteerd zit op de loodstaaf. Op het veldboek van de GNSS zijn real-time informatie, zoals positie, status van de instrumenten en de te kwaliteit van de bemeeten punten af te lezen.



Figuur 4.4: Peilstok waarmee o.a. het hart van grond controle punten wordt ingemeten bij fotogrammetrie projecten.

## 4.4 Processing

Deze UAV LiDAR meettechniek biedt (in tegenstelling tot fotogrammetrie) de mogelijkheid om realtime kwaliteitscontrole uit te voeren. In het veld verschijnt de puntenwolk realtime in het scherm van de surveyor. Sensorstatus en kwaliteitscriteria kunnen direct gemonitord worden. Indien nodig, kan een deel van de meting opnieuw gedaan worden of worden besloten tot postprocessing op kantoor.

In hoofdlijnen volgt de verwerking van de data een aantal stappen. De real-time data van de GNSS, Motion Sensor (INS), laserscanner (LiDAR) (en evt ook camera) wordt geselecteerd op specifieke sensor gerelateerde kwaliteitscriteria. Vervolgens wordt de data op basis van tijd en oriëntatie aan elkaar gekoppeld en omgezet in een puntenwolk. Dit levert een zogenaamde puntenwolk file op in .las of .laz format. Daarna worden automatisch outliers (i.e. sterk afwijkende waarden) en andere vormen van 'ruis' verwijderd. Dit vormt de ruwe gevalideerde puntenwolk.

Optioneel wordt de vegetatie en andere objecten geclassificeerd (en mogelijk verwijderd) om tenslotte slechts grondpunten te gebruiken voor het verkrijgen van een DTM.

De classificatie van de puntenwolk geschiedt volgens de internationale standaard zoals gehanteerd door American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Klassen die relevant zijn voor dit project:

- never classified = 0
- unclassified = 1
- ground = 2
- low vegetation = 3
- medium vegetation = 4
- high vegetation = 5
- building = 6
- noise = 7

De grondpunten worden vervolgens geïnterpoleerd naar een regelmatig grid (GEOTiff) van bijvoorbeeld 0.25 bij 0.25 m, wat het DTM vormt.

## 5 Opmerkingen, bijzonderheden en waarnemingen tijdens de meting

1) Net als bij de vorige meting was het helmgras zeer stevig, dichtbegroeid en ca. 50 tot 75 cm hoog (Figuren 5.1 en 5.2). Het helmgras stond daarbij niet recht omhoog maar scheef, waardoor het grondoppervlak soms lopend zelfs moeilijk was te ontwaren. In deze gevallen kan ook LiDAR wellicht niet het grondoppervlak bemeten, omdat de lasers het grondoppervlak niet kunnen bereiken. Bij iets dunner helmgras gaat dit wel.



Figuur 5.1: Indicatie helm op duintop



Figuur 5.2: Indicatie helm op duintop

**2)** De classificatie van de grondpunten (2) gaat op strand, dun helm en struweel goed. Bij het zeer dichte helm kan bij de classificatie geen onderscheid gemaakt worden tussen helm en grond.

3) De meeste strandtenten stonden nog op het strand. In Julianadorp was een rij kleine strandhuisjes al verwijderd, waarachter prachtige patronen in het zand van de duinvoet te zien zijn (Fig. 5.3). Het type huisjes wat daar stond is vergelijkbaar met de huisjes uit Fig. 5.4



Figuur 5.3: Patronen in het zand bij duinvoet achter verwijderde kleine strandhuisjes





Figuur 5.4: Voorbeeld kleine strandhuisjes.

4) Bij Julianadorp staat een forse constructie op palen ten noorden van de zuidelijke opgang Fig. 5.5



Figuur 5.5: Opgang Julianadorp

5) Ten zuiden van de opgang bij Sint Maartenszee staat de reddingsbrigade vlak bij de HW lijn (Fig. 5.6).



Figuur 5.6: Reddingsbrigade vlakbij HW lijn gepositioneerd